

## Abschlussbericht

### **BMBF-FONA Projekt: MiKlip-A flexible forecast system for decadal climate prediction (Flexfordec)**

**FKZ: 01LP1144A**

Bezugsperiode: 1.9.2011 bis 31.10.2015

Berichtsperiode: 1.9.2011 bis 31.10.2015

## I. Kurze Darstellung

### **I.1. Aufgabenstellung**

Das Ziel der ersten Phase des MiKlip Projektes ist es, das zurzeit bestmögliche dekadische Klimavorhersagesystem zu entwickeln bei gleichzeitiger Grundlagenforschung im Bereich der dekadischen Klimavorhersagbarkeit. Eine Zusammenfassung der programmatischen und wissenschaftlichen Ergebnisse ist in Marotzke et al. (2016) dokumentiert. Grundlage für die Klimavorhersagen bildet das Erdsystemmodell MPI-ESM (Stevens et al. 2013, Giorgetta et al. 2013). Die Aufgaben von **Flexfordec** sind die Umsetzung und Bereitstellung dekadischer Vorhersagen für verschiedene Entwicklungsstufen sowie die Koordination von MiKlip als Ganzes und Modul D.

### **I.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Das Erdsystemmodell MPI-ESM in den beiden Auflösungen LR und MR, mit welchem die retrospektiven Vorhersagen gerechnet wurden, wurde am MPI-M entwickelt und dem Projekt zur Verfügung gestellt. Die zum Teil sehr aufwändigen und rechenintensiven retrospektiven Vorhersagen wurden am DKRZ durchgeführt, an dem beide vorhandenen Auflösungen bereits implementiert und optimiert waren. Das DKRZ stellte ferner, nach erfolgreichen Anträgen, jährlich die Rechenzeiten zur Verfügung. Auch stellte das DKRZ Speicherplatz zur Verfügung, der dann durch den MiKlip Server erweitert wurde. Die Implementierung des MiKlip Servers wurde vom DKRZ und dem MiKlip Büro durchgeführt.

### **I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

Konzeptionell ist **Flexfordec** eines von zwei Projekten in Modul D, und trägt zu dem Gesamtprojekt durch die Entwicklung des zentralen Vorhersagesystems unter Berücksichtigung der wissenschaftlichen Vorgaben aus MiKlip sowie durch die Koordination von Modul D und der Gesamtkoordination von MiKlip bei. **Flexfordec** ist in die folgenden Arbeitspakete (WP) unterteilt (WP5 ist Bestandteil des zweiten Projektes von Modul D **Integration**, mit dem Ziel der Entwicklung eines Evaluierungssystems):

WP1: Weiterentwicklung und Auswertung des zentralen Vorhersagesystems

WP2: Ensemblesystem Infrastruktur  
WP3: Modellumgebung Infrastruktur  
WP4: Postprozessing und Kommunikation  
WP6: MiKlip Office

Im Rahmen der ersten Phase von MiKlip wurden zunächst die als MiKlip „Baseline 0“ definierten Experimente durchgeführt (Müller et al. 2012), welche sich an den Experimenten für das 5. „Climate Model Intercomparison“ Projektes (CMIP5, Taylor et al. 2012) orientieren. Anschließend wurde dieses System sukzessive durch das System „Baseline 1“ in der Entwicklungsstufe DS1 (09.2011-03.2013) und „Prototype“ in der Entwicklungsstufe DS2 (4.2013-8.2015) verbessert, und jeweils den Projektpartnern zur Modellevaluation und Vorhersagenverifikation sowie als Randbedingungen für die Regionalisierung zur Verfügung gestellt. Hierfür wurde zu Anfang des Projektes der MiKlip Server am DKRZ installiert.

Für die sukzessive Verbesserung der dekadischen Vorhersagesysteme in den einzelnen Entwicklungsstufen sind Verbesserungsvorschläge aus den Modulen A (Initialisierung), B (Klimaprozesse) und E (Evaluation) berücksichtigt worden. Die Daten wurden über den MiKlip-Server den anderen Projekten in MiKlip für die weiteren Analysen verfügbar gemacht. Insbesondere die Entwicklung des zentralen Evaluierungssystems durch das Projekt **Integration** hat eine schnelle und einfache Beurteilung der Verbesserung in den Vorhersagesystemen ermöglicht.

#### **I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Die Klimavorhersagen des Projektes bauen auf geleistete Vorarbeiten mit früheren Versionen von MPI-ESM auf (Pohlmann et al., 2009, Matei et al. 2012). Dort sind erste Erfolge der Vorhersagegüte beispielsweise von Oberflächentemperaturen oder großskaliger atlantischer Strömungen im Bereich des Nordatlantiks („Atlantic Meridional Overturning Circulation“, AMOC) dokumentiert. Zudem wurden die Simulationen des 5. „Climate Model Intercomparison“ Projektes (CMIP5, Taylor et al. 2012) in **Flexfordec** erweitert und als Grundlage für die erste Generation der MiKlip Vorhersagen genutzt.

#### **I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.**

Flexfordec ist ein zentrales Projekt innerhalb MiKlip, da es zum Einen die Koordination von Modul D und MiKlip als Ganzes beinhaltet, aber mit dem zentralen globalen Vorhersagesystem das Kern- bzw. Vergleichsstück für die Initialisierung (Modul A), das Prozessverständnis (Modul B) und die Evaluierung (Modul E) darstellt. Ferner bietet es die Randbedingungen für die Regionalisierung in Modul C an. Somit ist Flexfordec programmatisch direkter Ansprechpartner für alle Projekte von MiKlip. MiKlip ist ferner Partner des EU FP7 Projektes SPECS (“Seasonal-to-decadal climate Prediction for the improvement of European Climate Services“) mit dem Fokus auf der Entwicklung von saisonalen und dekadischen Vorhersagesystemen auf europäischer Ebene. Ein gemeinsamer Workshop wurde 2015 von MiKlip organisiert (<http://www.fona-miklip.de/en/1082.php>).

## II. Eingehende Darstellung

### II.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

#### WP1: Weiterentwicklung und Auswertung des zentralen Vorhersagesystems

**Flexfordec** hat für DS1 zwei Sets von retrospektiven Vorhersagen (Baseline 0 und 1) entwickelt. Das Baseline 0 System wurde für CMIP5 entwickelt und von Müller et al. (2012) analysiert. Bis auf den tropischen Pazifik zeigen die Initialisierungen einen deutlichen Informationsgewinn gegenüber der Klimatologie, beispielsweise für die Bodentemperaturen. Dieser Gewinn ist vorwiegend durch den gegenwärtigen Anstieg der Temperaturen global begründet. Die Vorhersagen zeigen aber auch ferner, dass die Initialisierung der retrospektiven Vorhersagen von einem Beobachtungszustand, und daher die Berücksichtigung der Klimavariabilität, die Vorhersagegüte gegenüber den nicht initialisierten Experimenten (also ein Proxy für die Randbedingungen) vor allem über dem Nordatlantik für alle Laufzeiten verbessert. Müller et al. (2012) identifizieren, z. B. für die Oberflächentemperatur, eine erheblich unterschiedliche Vorhersagegüte auch in verschiedenen Jahreszeiten. Für mehrjährige Wintermittel herrschen positive Werte vorwiegend in Nordeuropa vor. Für mehrjährige Frühling- bis Herbstmittel sind positive Werte in Mittel- und Südosteuropa vorhanden. Negative Werte über dem tropischen Pazifik spiegeln jedoch einen systematischen Fehler in der Initialisierung des Baseline 0 Systems wider. Als Folge ist die Vorhersagegüte, z. B. bezüglich der globalen Mitteltemperatur, niedriger als in anderen CMIP5 Systemen (Bellucci et al. 2014).

Im Laufe von DS1 konnte **Flexfordec** die Initialisierung des Vorhersagesystems noch weiter verbessern (Baseline 1). Die neue Initialisierung beinhaltet sowohl eine verbesserte ozeanische Initialisierung mit ORA-S4 (Balmaseda et al. 2012) als auch zusätzlich eine atmosphärische Initialisierung mit ERA-40 (Uppala et al. 2005) und ERA-Interim (Dee et al. 2011). Bezüglich Baseline 0 ist das Ensemble auf 10 Mitglieder in MPI-ESM-LR und 5 Mitglieder für die höhere Auflösung MPI-ESM-MR vergrößert worden. Wie bei Baseline 0 wird auch bei Baseline 1 die „lagged-one-day“ Initialisierungsmethode für die Generierung der Störungen verwendet und für jedes Jahr im Zeitraum 1961 bis 2012 durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die neue ozeanische Initialisierung die Vorhersagegüte der Lufttemperatur über dem tropischen Ozean für den Vorhersagezeitraum von einem und 2-5 Jahren verbessert (Pohlmann et al. 2013). Dadurch wird auch die Vorhersagegüte der mittleren Globaltemperatur auf dieser Zeitskala korrigiert. Die höhere Modellauflösung verbessert zudem die Vorhersagegüte über dem tropischen Pazifik noch weiter (Pohlmann et al. 2013). Ein weiterer Vorteil des Baseline 1 Systems ist, dass die atlantische meridionale Zirkulation eine höhere Vorhersagegüte als im Baseline 0 System besitzt (Müller et al. 2016).

Für die 2. Entwicklungsstufe des Vorhersagesystems (DS2, Prototype) hat **Flexfordec** zwei weitere Sets von hindcasts entwickelt. Auf Grundlage der Empfehlungen der Steuerungsgruppe von 2013 wurde hierfür die Initialisierungsmethode geändert, hin zu einer „full-field“ Initialisierung im Gegensatz zu einer „anomaly“ Initialisierung in DS1. Hierbei werden die absoluten Werte der „Beobachtungen“ in das gekoppelte Model assimiliert, im Gegensatz zum „anomaly“ Verfahren, bei dem lediglich Anomalien der Beobachtungen zusammen mit der

Modellklimatologie assimiliert werden. Ferner wurde die Ensemblegröße auf 30 erhöht, wobei jeweils 15 Ensemblemitglieder auf Assimilationsverfahren mit den beiden Reanalysen ORA-S4 respektive GECCO2 (Köhl 2014) durchgeführt wurden. Für die Auswertung ist es von Vorteil, wenn auch 15 Member der historischen Simulationen zur Verfügung stehen. Daher wurde das Ensemble der historischen LR Simulationen um 5 auf 15 Member erweitert. Der Zugewinn im Prototype System ist Gegenstand derzeitiger Analysen (Kröger et al. 2016).

Im Folgenden ist eine Zusammenstellung der Ergebnisse mit verschiedenen Projektpartnern aufgestellt, an denen **Flexfordec** beteiligt war.

In Zusammenarbeit mit dem Projekt **Integration** wurde der Zusammenhang zwischen Vorhersagegüte und Ensemblestreuung im Baseline 1 System untersucht (Kadow et al. 2015). Es zeigte sich, dass die Ensemblestreuung als Abschätzung der Vorhersageunsicherheit in vielen Regionen anwendbar ist.

In Zusammenarbeit mit dem **DroughtClip**-Projekt wurde die Vorhersagegüte der über das gesamte 20. Jahrhundert erweiterten („Extended“) dekadischen hindcasts untersucht (Müller et al. 2014a,b). Grundsätzlich führt die Erweiterung der Startdaten dazu, dass die Abschätzungen der Vorhersagegüte deutlich robuster werden. Zudem können historische Ereignisse, wie beispielsweise die Erwärmung des Nordatlantiks in den 1920er Jahren mit untersucht werden. In Zusammenarbeit mit dem **DroughtClip**-Projekt wurde ferner der Einfluss der Ensemblegröße auf die dekadischen Vorhersagegüte untersucht (Sienz et al. 2015). Hier zeigte sich insbesondere, dass der Fehler der dekadischen Vorhersagen bei höherer Ensemblegröße deutlich reduziert wird. Für eine Größe von schon 10 aufwärts wird die Vorhersagegüte deutlich durch die Initialisierung beeinflusst, wie beispielsweise gezeigt für die europäischen mehrjährigen Sommertemperaturen.

In Kooperation mit dem **AodaPeng**-Projekt wurde die Vorhersagbarkeit der CO<sub>2</sub>-Aufnahme des Nordatlantik im Baseline 1 System untersucht (Li et al. 2016). Hier zeigte sich insbesondere, dass auch die vom Erdsystem betroffenen Größen, wie etwa die CO<sub>2</sub> Aufnahme des Ozeans, mindestens 4 Jahre im Voraus vorhersagbar sind.

Mit dem **EnsDiVal**-Projekt wurde die Vorhersagegüte hinsichtlich von Winterstürmen der Nordhalbkugel zwischen Baseline 1 und Beobachtungen verglichen (Kruschke et al. 2015). Grundsätzlich bleibt die Vorhersagegüte für die Sturmzugbahnen gering. Für die höheren Breiten allerdings ist der Einfluss der Initialisierung groß und führt zu einer signifikanten Vorhersagegüte der Sturmzugbahnen von einigen wenigen Jahren.

In Zusammenarbeit mit dem **Alarm**-Projekt wurde der Einfluss vulkanischer Aerosole auf jahreszeitliche mehrjährige und dekadische Vorhersagen untersucht (Timmreck et al. 2016). Mit der Berücksichtigung vulkanischer Aerosole ist auf mehrjährigen Zeitskalen eine bessere Vorhersagegüte, vor allem über dem tropischen Atlantik und Europa, und hier insbesondere in der Wintersaison vorhanden.

Schließlich wurde in Zusammenarbeit mit dem DKRZ an der graphischen Darstellung der Unsicherheiten in dekadischen Vorhersagen gearbeitet (Böttinger et al. 2015).

MiKlip ist eng mit den EU-Project SPECS verknüpft, in welchem auf europäischer Ebenen saisonale und dekadische Vorhersagesysteme weiterentwickelt werden. Hierfür wurden dem SPECS Projekt die Baseline 1-Daten in der LR und MR Auflösung zur Verfügung gestellt. Einige Auswertungen sind in Planung oder existieren bereits. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass durch eine höhere vertikale Auflösung (MR) in Baseline 1 die Klimavariabilität in der Stratosphäre, insbesondere die quasi-biannuale Oszillation (QBO), verbessert wird. Durch die neu eingeführte atmosphärische Initialisierung zeigt die QBO eine Vorhersagegüte von bis zu 4 Jahren, wenn die vertikale atmosphärische Auflösung hoch genug gewählt wird (Pohlmann et al. 2013, Scaife et al. 2014). Ferner wurde eine Untersuchung initiiert, die den genauen Zusammenhang zwischen der multi-dekadischen Schwankung atlantischer SST und Wärmeflüsse und dem europäischen Klima untersucht. Eine Arbeit von Ghosh et al. (2016) zeigt unter anderem, wie großskalige Strukturen der Atmosphäre von der multi-dekadischen Schwankung des Nordatlantik abhängen und diese über blockierende Wetterlagen das Sommerklima über Europa beeinflussen. Dieser Prozess wird als Ursache der Vorhersagegüte der dekadischen Vorhersagen für das europäische Sommerklima vermutet (Müller et al. 2012).

**Flexfordec** hat ferner seit 2012 mit seinem Vorhersagesystem aktuelle dekadische Klimavorhersagen durchgeführt, die vom UK-MetOffice im Rahmen des „Multi-model Decadal Forecast Exchange“ Projekts auf der folgenden web-Seite veröffentlicht wurden: <http://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/long-range/decadal-multimodel>. Hier werden weltweit alle aktuellen dekadische Vorhersagen gesammelt und zu einem Multi-Modell Ausblick zusammengefasst (Smith et al. 2013).

## **WP2: Ensemblesystem Infrastruktur**

Die Entwicklung der Kernstruktur des neuen „Workflow Management System“ (WfMS) für das MiKlip Vorhersagesystem ist abgeschlossen. Mit dem dem WfMS zugrunde liegenden Datenmodell können wissenschaftliche Experimente mit Ensemble-Läufen von gekoppelten numerischen Modellen definiert, und zur Laufzeit gesteuert und protokolliert werden. Die darin gekapselten Objekte für Definition, Arbeitsablauf und Protokollierung strukturieren Experimente unter Vermeidung von Redundanz. Das WfMS speichert diese Objekte und ermöglicht damit automatische Fehlerbehandlung. Auf höherer Ebene gibt die genutzte Metascheduling Software „Cylc“ Kontrolle über das Experiment. Im Rahmen von „Cylc“ kann der Ablauf eines Experiments durch einmalige oder wiederkehrende Prozesse in gewünschter Granularität festgelegt und mit den Mitteln des WfMS umgesetzt werden. Zur Laufzeit können diese Prozesse überwacht und angesteuert werden. Generische Operatoren in Hinblick auf die Nutzung von Netzwerkprotokollen sind dabei wesentliche Bausteine der Prozesse. Die Operatoren protokollieren automatisch Dateiverarbeitung und liefern so Provenance Daten für jede vom WfMS gepflegte Datei. Eine Vorabversion des Cylc Meta-Schedulers wurde an einem Ensemblemember des Prototype-Systems getestet. Eine erste Einschätzung zeigt, dass die Experiment-Echtzeit durch die Steuerung auf 71 % reduziert werden konnte.

### **WP3: Modellumgebung Infrastruktur**

Für die Entwicklung der Ensemblesystem-Infrastruktur wurden technische Verbesserungen am Modell-Code und die Umsetzung des „Climate Model Output Rewriter“ (CMOR) Datenformat-Standards erreicht. Die Entwicklung der Vorhersagesysteme Baseline 1 und Prototype mit verbesserter Initialisierung des Ozeans und zusätzlicher Initialisierung der Atmosphäre fallen auch in diesen Bereich. Es wurden für verschiedene Projektpartner in einer Auswahl an historischen, Szenarien- und Vorhersage-Experimenten zusätzliche Datensätze berechnet, die über den standardisierten, an das CMIP5 Protokoll angelehnten Modelloutput im MiKlip Projekt hinausgehen. Diese sind im Einzelnen folgende: Für das Projekt STRATO (Modul B) wurden monatliche atmosphärische Erwärmungsraten (5 historische Läufe, 3 GECCO2 basierte Prototype Hindcasts) berechnet. Für die Projekte VADY und VECAP in Modul E wurden diverse Tendenz-Terme in Troposphäre und Stratosphäre (u.a. Gravitationswellen; VADY) und Satellitensimulationsdaten (Simulation der NASA-TRMM-PR und ESA-MetOP\_IASI Messungen; VECAP) in hoher zeitlicher Auflösung zur Verfügung gestellt (aus jeweils 5 historischen [bzw. ab dem Jahr 2006 Szenarien-] Läufen sowie ORA-S4 und GECCO2 basierten Prototype Hindcasts).

### **WP4: Postprocessing und Kommunikation**

Während DS1 und DS2 wurden alle Simulationen den Projektpartnern zugänglich gemacht. Dafür wurden zu Beginn des Projektes ein Datenserver (MiKlip Server) und ein Archiv im DKRZ installiert. Alle Simulationen wurden in ein standardisiertes Datenformat (CMOR) umgewandelt. Zusätzlich zu der CMIP5 Variablenliste wurden weitere Variablen zur Verfügung gestellt, die zuvor von den Projektpartnern angefordert wurden. Basierend auf dem CMOR Datenformat wurde in Zusammenarbeit mit dem Projekt **Integration** ein Evaluierungssystem entwickelt und auf die vorhandenen retrospektiven Vorhersagen angewendet. Internationale Zusammenarbeit gibt es außerdem mit dem EU-FP7-Projekt SPECS, bei dem ein Datenaustausch für einen internationalen Modellvergleich stattgefunden hat. Darüber hinaus werden aktuelle Prognosen für einen Multi-Modell-Vergleich zur Verfügung gestellt (Smith et al. 2013).

### **WP6: MiKlip Office**

Das MiKlip Office war für die generelle Organisation, die interne und externe Kommunikation sowie den Betrieb des MiKlip Servers verantwortlich.

Das MiKlip Office hat jährlich Treffen für alle Projektpartner organisiert; 28.-29.02.2012. (Hamburg), 14.-15.02.2013 (Berlin, Mitorganisator **Modul B**), 12.-14.02.2014 (Karlsruhe, Mitorganisator **Modul C**) und 23.-26.02.2015 (Offenbach, Mitorganisator **Modul E**). Um die internationale Zusammenarbeit zu fördern, wurde zu jedem Treffen ein internationaler Gast eingeladen und das Abschlusstreffen wurde zusammen mit den EU FP7 Projekt SPECS und dem WCRP Decadal Climate Prediction Panel organisiert. Um den Austausch innerhalb des Projektes zu fördern hat das MiKlip Office an allen Modultreffen teilgenommen. Ferner hat das MiKlip

Office mehrmals im Jahr Treffen und Telefonkonferenzen für die Steuergruppe und die Koordinationsprojekte organisiert.

Für die interne Kommunikation wurde ein interner Web-Bereich installiert, in dem u.a. fortlaufende Informationen zu den zentralen Daten und das Evaluierungssystem, MiKlip Dokumente, sowie administrative Aufgaben hinterlegt wurden. Ferner wurden regelmäßig (monatlich) ein Newsletter „News from the MiKlip Office“ –mit administrativen und technischen Informationen an alle MiKlip Teilnehmer verschickt.

Für die externe Kommunikation wurde eine MiKlip Webseite ([www.fona-miklip.de](http://www.fona-miklip.de)) zur (i) generellen Übersicht von MiKlip und (ii) kurzen Beschreibung der Module und Projekte eingerichtet. Die Webseite wurde in regelmäßigen Abständen mit neuen Ergebnissen, Terminen und Nachrichten aktualisiert. Außerdem erschien drei bis vier Mal im Jahr ein Newsletter (auf Deutsch und English), für Interessenten, die sich auf der Webseite anmelden konnten. In den Newslettern wurde über vergangene und anstehende Termine und Veranstaltungen, MiKlip-Beiträge zu Konferenzen und MiKlip in den Medien berichtet. Die Newsletter enthielten auch Zusammenfassungen einiger neuer MiKlip-Publikationen, sowie eine Liste aller neuen MiKlip-Publikationen.

Für die Dissemination außerhalb des Projektes hat sich das MiKlip Office insbesondere mit der Frage der sogenannten Klimadienste auseinandergesetzt, um eventuelle Erweiterungen in diese Richtung (e.g. Nutzer-Projekte in MiKlip II) vorzubereiten. Hierzu hat das MiKlip Office u.a. an zwei WMO-Dialogen zur Implementierung des „Global Framework for Climate Services“ (GFCS) und zwei ECMWF-Workshops für die Vorbereitung des „Copernicus Climate Change Services“ teilgenommen.

Das MiKlip Office hat in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) die Zusammensetzung der Hard- und Software für den Datenserver abgesprochen und bestellt. Der Datenserver wurde im August 2012 nach zweimonatigen Tests (**Flexfordec** und **Integration**) in Betrieb genommen. Eine Datennutzungsstrategie für Daten auf Disk und im Archiv wurde ausgearbeitet, welche allen MiKlip-Teilnehmern Zugang zu den zentralen Daten und die Möglichkeit der Post-Prozessierung der Daten gewährleistet. Seit der Inbetriebnahme des Servers haben sich 125 Personen für dessen Nutzung angemeldet. Das MiKlip Office hat in Zusammenarbeit mit **Integration** den MiKlip Server administriert, die Nutzungsregelungen fortlaufend je nach Bedarf des Projektes aktualisiert und die Nutzung des Servers betreut (Aufteilung der verfügbaren Speicherplatzes und Monitoring der Rechenkapazität).

## **II.2. Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Für die Umsetzung der Projektziele von WP1 wurden für die Bezugsperiode Dr. Wolfgang Müller und Dr. Holger Pohlmann eingestellt. Für das Erreichen der Projektziele von WP2 wurde für die Bezugsperiode Deike Kleberg eingestellt. Für die Umsetzung der Projektziele von WP3 wurde Ketan Kulkarni für den Zeitraum 09.11-05.14 und Dr. Jürgen Kröger für den Zeitraum 09.14-08.15 eingestellt. Für das Erreichen der Projektziele von WP4 wurde für die Bezugsperiode Kameshvar Modali eingestellt. Für das Erreichen der Projektziele von WP6 wurde für die Bezugsperiode Dr. Freja Vamborg eingestellt.

Zu Beginn des Projektes wurde am DKRZ der MiKlip Server installiert, mit insgesamt 11 Dell Blade-Server, 1PB Disc-Speicher (online Zugang) und 4PB Bandspeicher für das Archiv (offline Zugang). Für die Details zur Inbetriebnahme und Anwendung siehe Abschnitt I.1, WP6: MiKlip Office (§6).

Für die Organisation der jährlichen Gesamtprojekttreffen wurden mindestens drei Vergleichsangebote eingeholt, um einen geeigneten Veranstalter am Veranstaltungsort (Hamburg, Berlin, Karlsruhe, Offenbach) auszuwählen.

### **II.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die dargestellten Arbeiten hätten ohne die BMBF Zuwendung in dieser Form nicht durchgeführt werden können. Auch die Art und Höhe der Zuwendung sowie der Umfang der geleisteten Arbeiten war angemessen, um die Projektziele zu erreichen

### **II.4. Voraussichtlicher Nutzens, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Für den geltenden Berichtszeitraum sind noch keine wirtschaftlichen Anschlussfähigkeiten direkt abzuleiten. Die erzielten Ergebnisse legen jedoch den Schluss nahe, dass dekadische Vorhersagen im Vergleich zur Klimatologie einen Informationsgewinn erzielen, beispielsweise für die Oberflächentemperaturen. Dieser Informationsgewinn ist zunächst noch begründet durch den allgemeinen Temperaturanstieg. Ein Zugewinn durch die Initialisierung der natürlichen Klimavariabilität ist derzeit noch auf den Nordatlantik beschränkt, hat aber nachgewiesenes Potential auch für den europäischen Kontinent. Die erzielten Forschungsergebnisse respektive durchgeführten retrospektive Vorhersagen bilden somit die Grundlage für eine wissenschaftliche aber auch wirtschaftliche Verwertbarkeit, wie sie für die zweite Phase von MiKlip geplant ist. Das Ziel der zweiten Phase von MiKlip ist der Transfer des dekadischen Vorhersagesystems in den operationellen Betrieb des DWD. Zudem ist dort eine explizite Beteiligung privater und öffentlicher Anwendungsgruppen innerhalb zweier Projektgruppen vorgesehen.

### **II.5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Ist nicht bekannt.

## II. 6. Erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen

### Aus Flexfordec resultierende Veröffentlichungen

Bellucci, A., R. Haarsma, S. Gualdi, P. J. Athanasiadis, M. Caian, C. Cassou, E. Fernandez, A. Germe, J. Jungclaus, J. Kröger, D. Matei, W. Müller, H. Pohlmann, D. Salas y Melia, E. Sanchez, D. Smith, L. Terray, K. Wyser, and S. Yang, 2015: An assessment of a multi-model ensemble of decadal climate predictions. *Clim. Dyn.*, 44, 2787-2806. doi:10.1007/s00382-014-2164-y

Böttinger, M., H. Pohlmann, N. Röber, K. Meier-Fleischer, and D. Spickermann, 2015: Visualization of 2D uncertainty in decadal climate prediction. In "Workshop on Visualisation in Environmental Sciences (EnvirVis)", A. Middel, K. Rink, and G. H. Weber (Eds.), The Eurographics Association. doi:10.2312/envirvis.20151083

Butler, A. H., et al., 2016: The Climate-system Historical Forecast Project: Do stratosphere-resolving models make better seasonal climate predictions in boreal winter? *QJRMS*.

Ghosh, R., W. A. Mueller, J. Baehr, and J. Bader, 2016: Impact of observed North Atlantic multidecadal variations to European summer climate: A quasi-geostrophic pathway. Submitted to *Clim. Dyn.*

Kadow, C., S. Illing, O. Kunst, H. W. Rust, H. Pohlmann, W. A. Müller, and U. Cubasch, 2015: Evaluation of forecasts by accuracy and spread in the MiKlip decadal climate prediction system. *Met. Zeitschrift*. doi:10.1127/metz/2015/0639

Kröger, J., et al., 2016: Evaluation of different initialization strategies for the MiKlip decadal prediction system. In preparation.

Kruschke, T., H. W. Rust, C. Kadow, W. A. Müller, H. Pohlmann, G. C. Leckebusch, and U. Ulbrich, 2015: Probabilistic evaluation of decadal prediction skill regarding Northern Hemisphere winter storms. *Met. Zeitschrift*. doi:10.1127/metz/2015/0641

Li, H, T. Ilyna, W. A. Müller, and F. Sienz. 2016: Decadal Prediction of North Atlantic CO<sub>2</sub> uptake. *Nature Communications*, 7, 11076, doi: 10.1038/ncomms11076

Marotzke, J, W. A. Müller, F. Vamborg, et al., 2016: MiKlip – A national Research Project on Decadal Climate Prediction. *Bull. of Am. Met. Soc.* (accepted).

Müller, V., H. Pohlmann, D. Matei, J. Marotzke, W. A. Müller, and J. Baehr, 2016: Hindcast skill for the Atlantic meridional overturning circulation at 26.5°N within two MPI-ESM decadal climate prediction systems. *Clim. Dyn.* In review.

Müller, W. A., J. Baehr, H. Haak, J. H. Jungclaus, J. Kröger, D. Matei, D. Notz, H. Pohlmann, J.-S. von Storch, and J. Marotzke, 2012: Forecast skill of multi-year seasonal means in the decadal

prediction system of the Max Planck Institute for Meteorology. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L22707, doi:10.1029/2012GL053326

Müller W. A., D. Matei, M. Bersch, J. H. Jungclaus, H. Haak, K. Lohmann, G. P. Compo, and J. Marotzke, 2014a: A 20th-century reanalysis forced ocean model to reconstruct North Atlantic climate variation during the 1920s, *Climate Dynamics*. doi:10.1007/s00382-014-2267-5

Müller, W. A., H. Pohlmann, F. Sienz, and D. Smith, 2014b: Decadal climate prediction for the period 1901-2010 with a coupled climate model. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 2100-2107.

Pohlmann, H., W. A. Müller, K. Kulkarni, M. Kameswarrao, D. Matei, F. Vamborg, C. Kadow, S. Illing, and J. Marotzke (2013): Improved forecast skill in the tropics in the new MiKlip decadal climate predictions. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 5798-5802. doi:10.1002/2013GL058051

Smith, D. M., A. A. Scaife, G. J. Boer, M. Caian, F. J. Doblas-Reyes, V. Guemas, E. Hawkins, W. Hazeleger, L. Hermanson, C. K. Ho, M. Ishii, V. Kharin, M. Kimoto, B. Kirtman, J. Lean, D. Matei, W. A. Müller, H. Pohlmann, A. Rosati, B. Wouters, and K. Wyser, 2013: Real-time multi-model decadal predictions. *Clim. Dyn.*, 41, 2875-2888. doi:10.1007/s00382-1600-0

Scaife, A. A., M. Athanassiadou, M. Andrews, A. Arribas, M. Baldwin, N. Dunstone, J. Knight, C. MacLachlan, E. Manzini, W. A. Müller, H. Pohlmann, D. Smith., T. Stockdale, and A. Williams, 2014: Predictability of the quasi-biennial oscillation and its northern winter teleconnection on seasonal to decadal timescales. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 1752-1758. doi:10.1002/2013GL059160

Siens, F., W. A. Müller, and H. Pohlmann, 2016: Ensemble size impact on the decadal predictive skill assessment. *Met. Zeitschrift*. published online.

Timmreck, C., H. Pohlmann, S. Illing, and C. Kadow, 2016: The impact of stratospheric volcanic aerosol on decadal-scale climate predictions, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2015GL067431.

### **Andere Veröffentlichungen**

Balmaseda, M. A., K. Mogensen, and A. T. Weaver, 2012: Evaluation of the ECMWF ocean reanalysis system ORAS4, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 139, 1132–1161, doi:10.1002/qj.2063.

Dee, D. P., et al., 2011: The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137, 553–597, doi:10.1002/qj.828.

Giorgetta, M. A., et al. (2013), Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 5, 572–597, doi:10.1002/jame.20038.

- Köhl, A., 2014: Evaluation of the GECCO2 ocean synthesis: transports of volume, heat and freshwater in the Atlantic. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 141: 166–181, doi:10.1002/qj.2347
- Pohlmann, H., J. H. Jungclaus, A. Köhl, D. Stammer, and J. Marotzke, 2009: Initializing decadal climate predictions with the GECCO oceanic synthesis: Effects on the North Atlantic. *J. Climate*, 22, 3926–3938. doi:10.1175/2009JCLI2535.1
- Matei, D., H. Pohlmann, J. Jungclaus, W. Müller, H. Haak, and J. Marotzke, 2012: Two tales of initializing decadal climate prediction experiments with the ECHAM5/MPI-OM model, *J. Clim.*, 25, 8502–8523, doi:10.1175/JCLI-D-11-00633.1
- Stevens, B., et al., 2013: Atmospheric component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 5, 146–172, doi:10.1002/jame.20015.
- Taylor, K. E., R. J. Stouffer, and G. A. Meehl, 2012: An overview of CMIP5 and the experiment design, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 93, 485–498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1.
- Uppala, S. M., et al., 2005: The ERA-40 re-analysis, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, 2961–3012, doi:10.1256/qj.04.176

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht
3. Titel <b>A flexible forecast system for decadal climate prediction (Flexfordec)</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Jochem Marotzke, Wolfgang Müller, Freja Vamborg, Holger Pohlmann, Kameshvar Modali, Jürgen Kröger	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.08.15
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Max-Planck-Institut für Meteorologie Bundesstrasse 53 20146 Hamburg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 01LP1144A
	11. Seitenzahl 13
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 27
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 0
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das Ziel der ersten Phase des MiKlip Projektes ist es, das zurzeit bestmögliche dekadische Klimavorhersagesystem zu entwickeln bei gleichzeitiger Grundlagenforschung im Bereich der dekadischen Klimavorhersagbarkeit. Eine Zusammenfassung der programmatischen und wissenschaftlichen Ergebnisse ist in Marotzke et al (2016) dokumentiert. Die Aufgaben von <b>Flexfordec</b> sind die Umsetzung und Bereitstellung dekadischer Vorhersagen für verschiedene Entwicklungsstufen sowie die Koordination von MiKlip als Ganzes und Modul D. Zunächst wurden die als „Baseline 0“ definierten Experimente durchgeführt, welche sich an den Experimenten für das 5. „Climate Model Intercomparison“ Projektes orientieren. Anschließend wurde dieses System sukzessive durch die Systeme „Baseline 1“ und „Prototype“ verbessert und den Projektpartnern über den MiKlip Server bereitgestellt. Im Rahmen der Koordination wurden jährlich Projekt und Modul D-Treffen organisiert, sowie die interne und externe Kommunikation via Newsletter und Webseitenbeiträge.	
19. Schlagwörter Klimavorhersagen	
20. Verlag Technische Informationsbibliothek (TIB)	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned	2. type of document (e.g. report, publication) Final report	
3. title <b>A flexible forecast system for decadal climate prediction (Flexfordec)</b>		
4. author(s) (family name, first name(s)) Jochem Marotzke, Wolfgang Müller, Freja Vamborg, Holger Pohlmann, Kameshvar Modali, Jürgen Kröger	5. end of project 31.08.15	6. publication date
	7. form of publication	
	9. originator's report no.	
8. performing organization(s) (name, address) Max Planck Institut für Meteorologie Bundesstrasse 53 20146 Hamburg	10. reference no. 01LP1144A	
	11. no. of pages 13	
	13. no. of references 27	
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	14. no. of tables 0	
	15. no. of figures 0	
	16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)		
18. abstract The principle aim of MiKlip is to perform the best currently possible decadal climate prediction system and by the same time improve our knowledge in the field of decadal climate predictability. A summary of the programmatic and scientific results are given in Marotzke et al (2016). The objectives of <b>Flexfordec</b> are to pursue and provide decadal predictions for the different development stages and the coordination of MiKlip and Module D. <b>Flexfordec</b> has provided experiments "Baseline 0" which are based on the experiments for the 5th "Climate Model Intercomparison Project". This system was further improved in the succession systems "Baseline 1" and "Prototype" and provided to all project partners via the MiKlip server. The coordination organized yearly overall project and Module D meetings, and the internal and external communication via newsletter and contributions to the web page.		
19. keywords		
20. publisher	21. price	